

## Tests résistance 100k MilliNewton E

*Tests préliminaires sur les résistances 100 kOhm ESL 3915 de la version E du capteur MilliNewton, dont le layout a été corrigé par rapport à la version D pour diminuer un peu la valeur initiale.*

Thomas Maeder & Giancarlo Corradini, 1.2.2006

**Projet:** MilliNewton

**Mots-Clefs:** MilliNewton, capteur de force, production.

### 1. Introduction

La dernière version du capteur MilliNewton (D) comportait quelques problèmes, dont la valeur trop élevée des résistances 100 kOhm ESL 3915. L'augmentation de l'épaisseur de sérigraphie a conduit à des difficultés d'ajustement – dans certains cas, la coupe n'était pas assez complète, ce qui, étant donné la haute fluidité de cette composition résistive, posait des problèmes de stabilité lors du recuit de stabilisation ultérieur.

Dans la version E, les masques de 1<sup>er</sup> conducteur, de résistance 100 kOhm et de verrage ont été modifiés pour entre autres obtenir une valeur initiale correcte de ces résistances en utilisant une trame standard (325/30 ou 325/40).

### 2. Tests effectués

On n'a sérigraphié que les 3 couches modifiées, ce qui ne permet de mesurer et ajuster que la 1<sup>ère</sup> résistance 100 kOhm (R1). Après fabrication (cuisson à 850°C pour AgPd ESL 9635B et résistances ESL 3915 ; cuisson à 580°C pour le verrage ESL G-481), les opérations suivantes ont été effectuées :

- mesure de la valeur initiale (brute) ;
- ajustement (différent selon les substrats) ;
- mesure de la valeur ajustée ;
- recuit à 580°C, profil verrage ;
- mesure après recuit.

Neuf substrats ont été fabriqués, divisés en deux groupes sérigraphiés avec des conditions quelque peu différentes, donnant les paramètres et valeurs reportés au tableau 1. Les substrats no 6 et 7 ont été fabriqués en utilisant les mêmes conditions que les nos 3, 5, 8, 9 et 10.

No Test	Ecran [lignes/pouce] [ $\mu\text{m}$ ]	Vitesse [mm/s]	Epaisseur humide [ $\mu\text{m}$ ]	Epaisseur sèche [ $\mu\text{m}$ ]	Epaisseur cuite [ $\mu\text{m}$ ]
1	325 / 40	50	34 / 32	22 / 23	14 / 12
2	325 / 40	50	34 / 31	22 / 21	14 / 12
3	325 / 40	80	44 / 46	28 / 29	19 / 19
5	325 / 40	80	39 / 39	24 / 25	16 / 16
8	325 / 40	80	40 / 41	27 / 25	18 / 17
9	325 / 40	80	43 / 42	27 / 25	19 / 17
10	325 / 40	80			18 / 17

Tableau 1. Conditions de fabrication et épaisseurs mesurées. Pour l'épaisseur, on donne deux valeurs, mesurées à deux coins opposés du substrat.

### 3. Résultats

#### 3.1. Valeurs non ajustées

Les valeurs moyennes et écarts-type des différents substrats-test sont donnés au tableau 2, à l'état non ajusté. On donne les valeurs en tant qu'écart par rapport à la valeur nominale ( $R_{1,N} = 100 \text{ k}\Omega$ ) :

$$\Delta_R = \frac{R}{R_N} - 1 \quad (1)$$

Après mesure des nos 1 et 2, on a réajusté les conditions de sérigraphie, l'épaisseur trop mince donnant des valeurs trop élevées.

No Test	Moyenne de $\Delta_{RI}$ sur le substrat [%]	Ecart-type de $\Delta_{RI}$ sur le substrat [%]	Note
1	-14.8	8.9	trop élevé
2	-13.4	8.5	trop élevé
3	-40.4	7.7	ok
5	-34.5	6.1	ok
6	-41.7	7.1	ok
7	-40.7	7.6	ok
8	-35.8	6.1	ok
9	-34.1	5.9	ok
10	-40.2	7.4	ok

Tableau 2. Valeurs moyennes & écarts-type de  $\Delta_{RI}$  non ajusté.

La distribution est donnée aux figures 1 (#1 & #2) et 2 (#3...#10), en tant qu'écart par rapport à la moyenne de chaque substrat. Bien que la valeur soit meilleure en général dans les substrats #3 à #10, on a une zone trop élevée à droite du substrat, à la ligne 2. Comme les substrats avaient différentes cambrures, on doit conclure que cette zone est due au posage, qui apparemment a localement un point trop élevé (présence d'une particule, serrage ?).

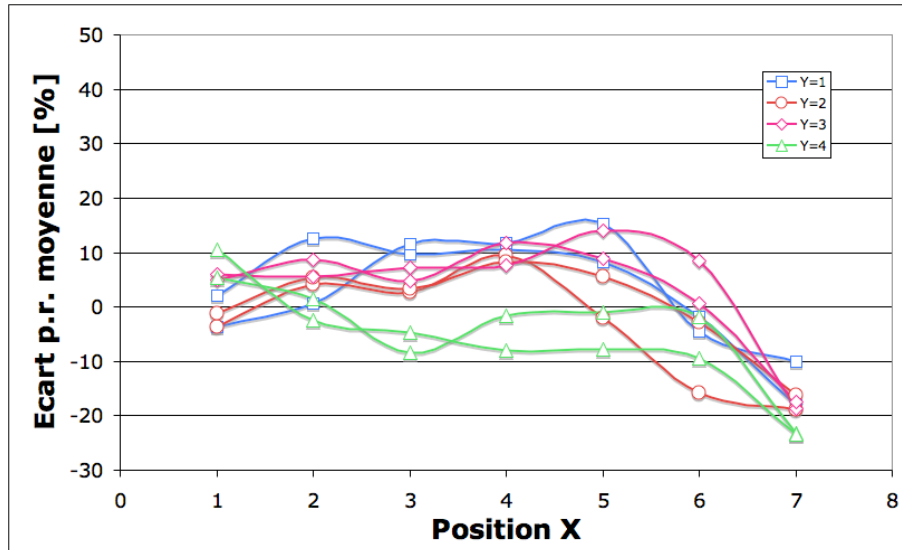


Figure 1. Ecart par rapport à la moyenne du substrat en fonction de la position, #1 et #2.

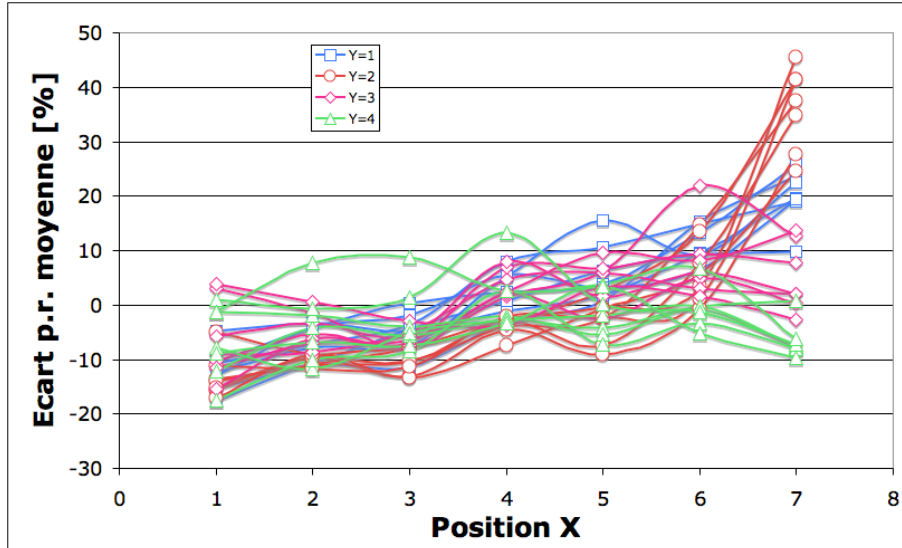


Figure 2. Ecart par rapport à la moyenne du substrat en fonction de la position, #3...#10.

### 3.2. Valeurs ajustées

Différentes conditions d'ajustement, reportées au tableau 3, ont été testées. L'ajustement est effectué en deux coupes, en géométrie parallèle ou en méandre, avec un écart de 0.45 mm entre les deux coupes. Après un substrat ajusté en méandre (comme pour la version D), on a passé à une coupe en parallèle, mieux adaptée à la nouvelle forme des résistances (plus courte et plus large). On a aussi utilisé deux valeurs-cible (0% = valeur nominale et +20%), ce qui permet, avec les différentes valeurs initiales, d'étudier l'effet sur une très large plage d'ajustement, allant de 0% (quelques résistances sur les substrats #1 et #2) à environ +150%.

Les paramètres d'ajustement (valeurs-seuil) ont aussi été légèrement changées entre #1...#5 par rapport à #6...#9 ("initial" – "final"), afin d'optimiser la vitesse d'ajustement.

La précision relative (valeur par rapport à la valeur-cible) d'ajustement est donnée à la figure 3, en fonction de l'augmentation relative de la valeur lors de l'ajustement. On obtient grosso modo la même précision, mais avec une meilleure vitesse, en passant de "méandre" à "parallèle (initial)" à "parallèle (final)", et, naturellement, la précision tend à être meilleure quand le degré d'ajustement est plus faible : la valeur initiale des résistances doit donc être la plus élevée possible permettant encore de garantir qu'aucune résistance n'ait une valeur initiale supérieure à 100 kOhm.

Nos	Géométrie d'ajustement	Valeur-cible ( $\Delta_{R1}$ )
1, 2, 3, 5	Parallèle (final)	0%
6, 7, 8, 9	Parallèle (initial)	+20%
10	Méandre	+20%

Tableau 3. Paramètres d'ajustement des différents substrats.

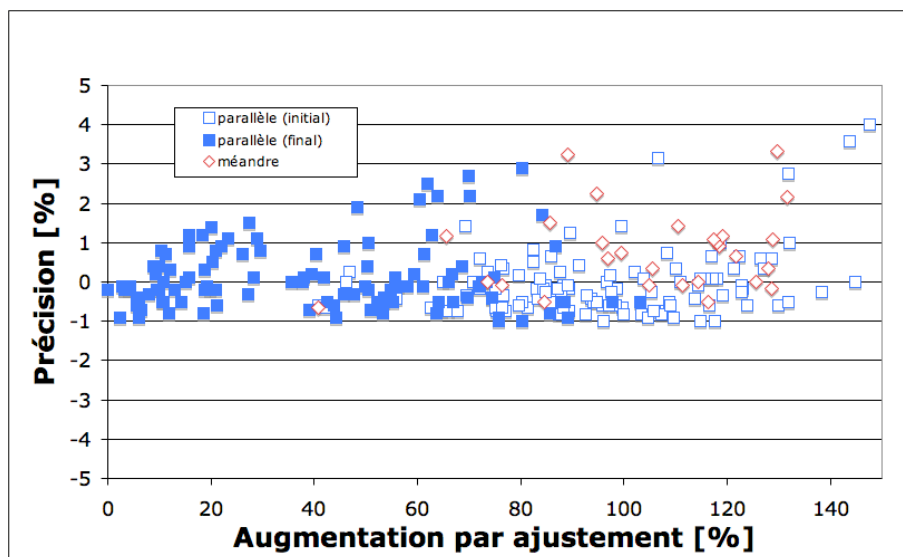


Figure 3. Précision d'ajustement, en fonction de l'augmentation relative lors de l'ajustement, pour les 3 séries de paramètres d'ajustement.

### 3.3. Valeurs après recuit

La variation de valeur due au recuit selon le profil verrage à 580°C est donnée pour chaque résistance à la figure 4, toujours en fonction de l'augmentation relative due à l'ajustement. En général, on constate une excellente stabilité (<2%), excepté pour quelques résistances fortement ajustées. Là aussi, on voit qu'un degré d'ajustement modéré favorise une faible variation au recuit. Il faut aussi constater l'excellente stabilité en général de la combinaison ESL 3915 + ESL G-481 : à la température de recuit, il n'y a quasiment pas de variation systématique de la valeur.

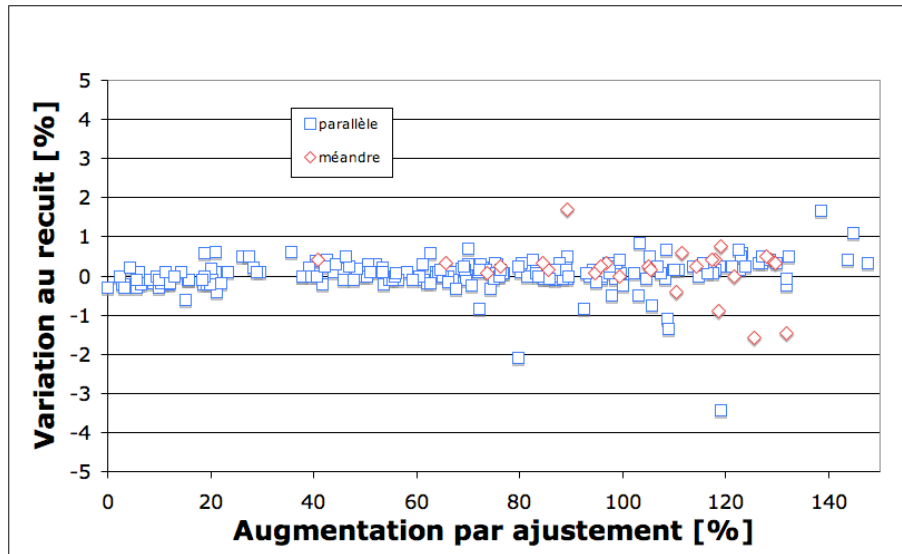


Figure 4. Variation au recuit, en fonction de l'augmentation relative lors de l'ajustement, pour les deux géométries de coupe.

### 3.4. Quelques valeurs brutes de R4 et R17 (avec R1)

Lors de la fabrication, quelques valeurs de R1, R4 et R17 ont aussi été mesurées à la main, sur les substrats 1, 2, 3 et 5 et en 5 points : à peu près au centre, et aux 4 coins.

Les valeurs initiales ( $\Delta R_1$ ,  $\Delta R_4$ ,  $\Delta R_{17}$ ,  $R_{1N} = R_{4N} = 100 \text{ k}\Omega$  ;  $R_{17N} = 200 \text{ k}\Omega$ ) sont données en fonction du no de substrat à la figure 5, et en fonction de la position sur le substrat aux figures 6 (#1, #2) et 7 (#3, #5). On fait les constats suivants :

- Les valeurs sur #1 et #2 sont trop élevées ; celles sur #3 et #5 sont bonnes.
- L'ajustement entre R1 et R4 est bon : en moyenne sur tous les substrats, on a pour les deux résistances -30%.
- Pour R17, l'écart est de -38% - on pourrait augmenter donc sa valeur légèrement (pas critique).
- On retrouve les problèmes de distribution, surtout pour #3 et #5.

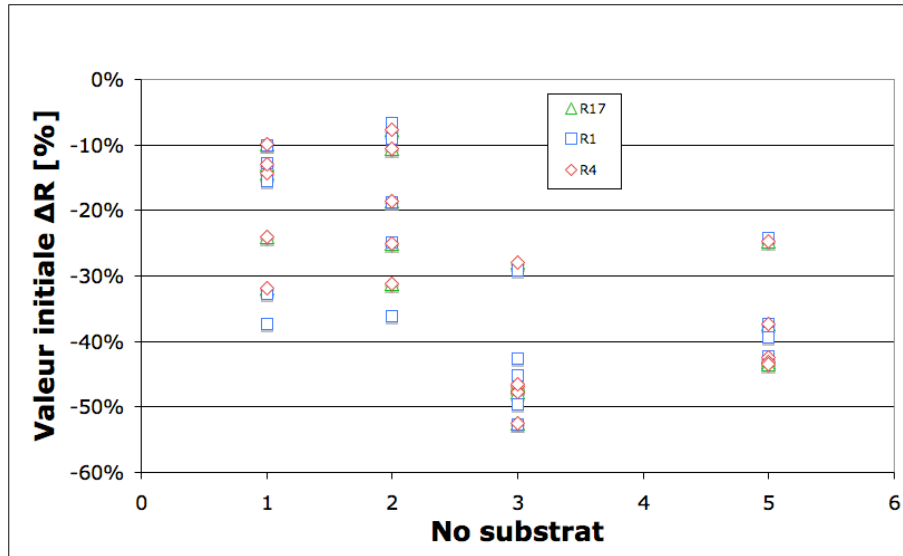


Figure 5. Valeurs initiales des résistances (écarts par rapport à la valeur nominale), en fonction du no de substrat.

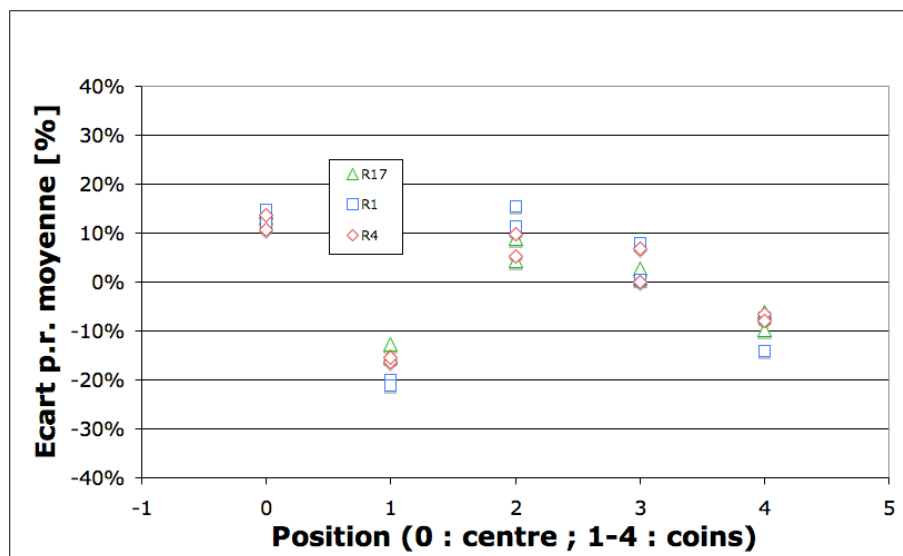


Figure 6. Distribution (écart par rapport à la moyenne du substrat) en fonction de la position, #1 et #2.

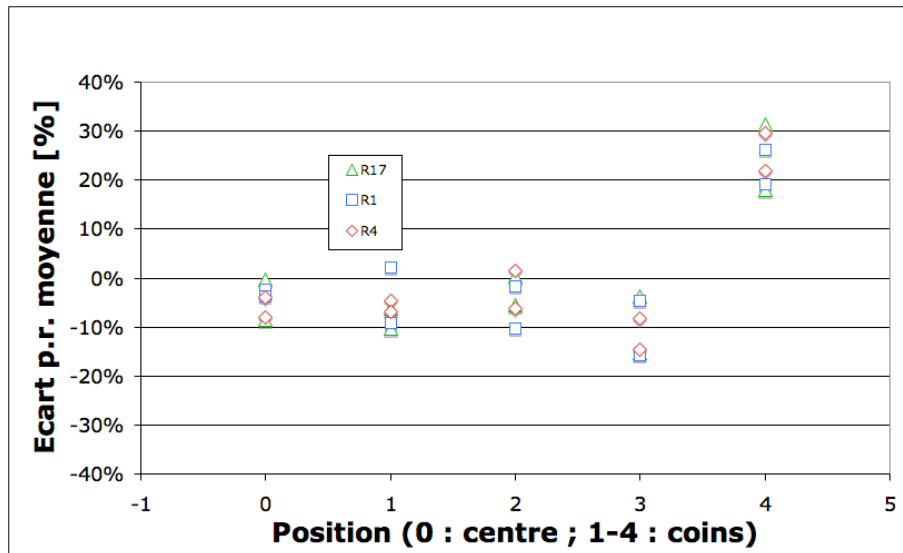


Figure 7. Distribution (écart par rapport à la moyenne du substrat) en fonction de la position, #3 et #5.

## 4. Conclusions

- Les conditions de sérigraphie pour les substrats 3...10 sont en général bonnes – on pourrait cependant augmenter très légèrement la valeur des résistances, afin de diminuer le degré d'ajustement.
- On a un problème de distribution des valeurs sérigraphiées, qui est manifestement dû au posage ou à la fixation des substrats, car on a systématiquement un point de valeur plus élevée, indépendamment de la cambrure du substrat.
- L'ajustement a une précision satisfaisante ; pour la production, on va juste très légèrement diminuer le point de ralentissement. On va passer aussi à un ajustement à deux coupes parallèles, plus adapté à la nouvelle géométrie des résistances R1 et R4 que le méandre utilisé pour la version D.
- La stabilité au recuit des résistances ajustées est en général excellente.
- En tenant compte de ces remarques, on peut lancer la production.